



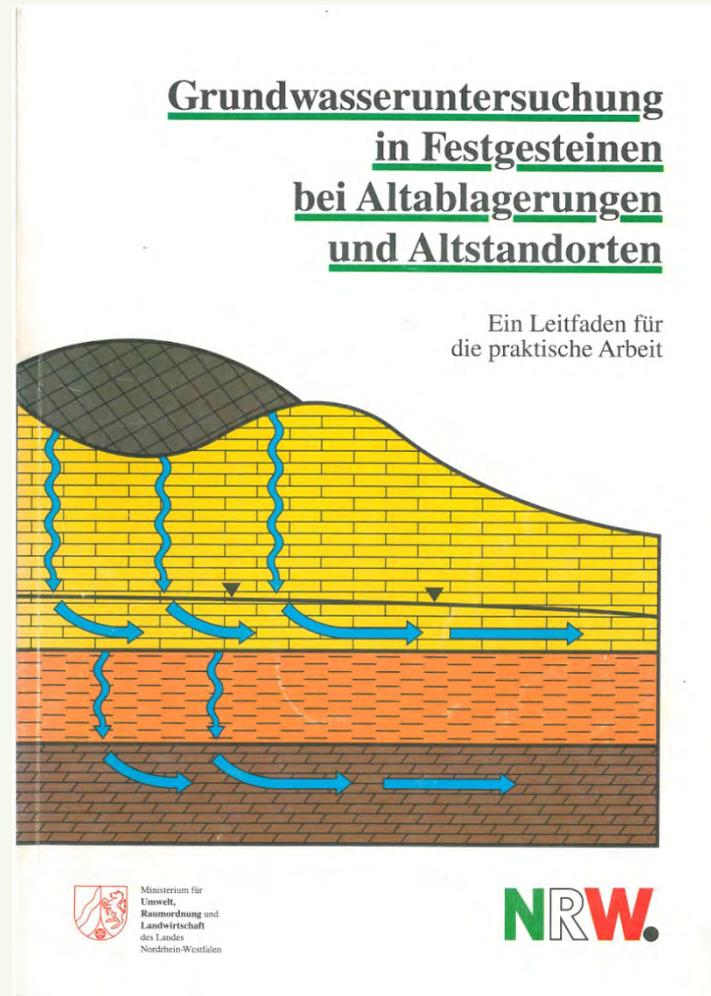
Ein steiniger Weg?

Festgesteinsgrundwasserleiter bei der Altlastenbearbeitung

Vortrag beim BEW-Seminar
„Gefährdungsabschätzung Boden-Gewässer“
am 22. Februar 2016

Dr. Michael Kerth

MURL-Leitfaden 1991

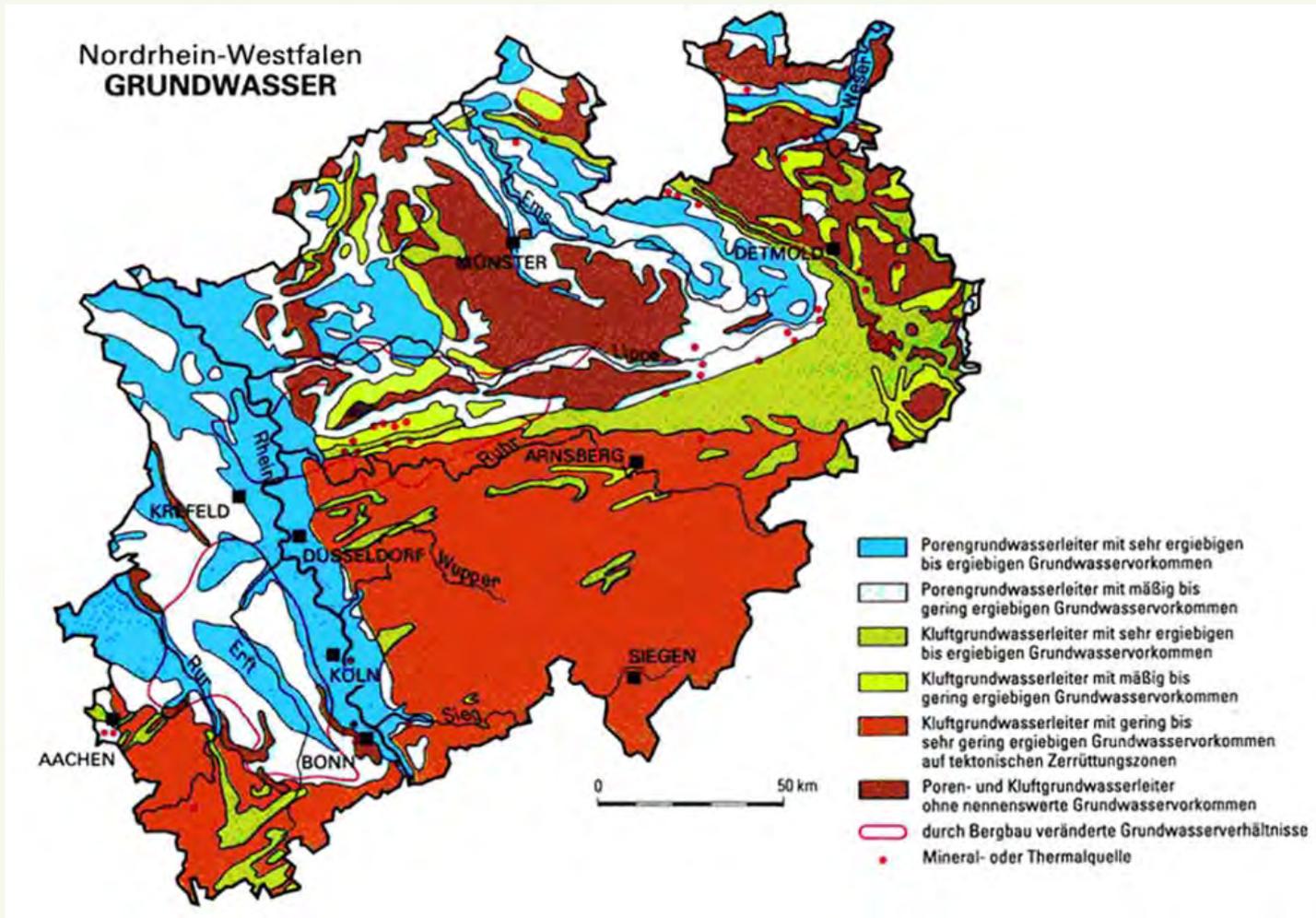




Gliederung des Vortrags

1. **Verbreitung:** Wo sind Festgesteinsgrundwasserleiter in NRW vorhanden?
2. **Eigenschaften:** Welche besonderen Eigenschaften haben Festgesteinsgrundwasserleiter?
3. **Methodik:** Welche methodischen Besonderheiten sind bei Festgesteinsgrundwasserleitern zu beachten?
4. **Fallbeispiele:** Welche Erfahrungen liegen vor?
5. **Fazit**

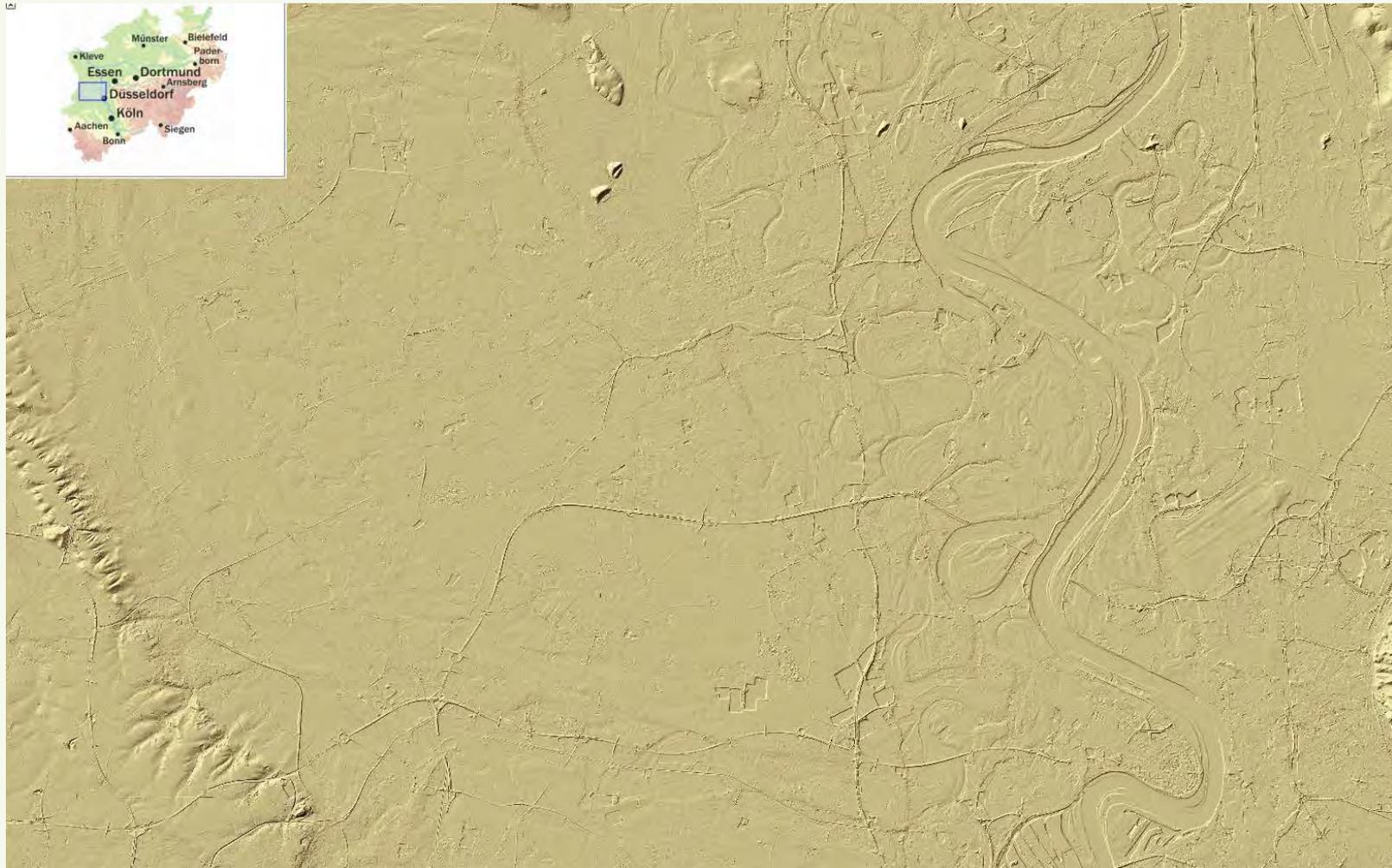
Grundwasserleiter in Nordrhein-Westfalen



Quelle:

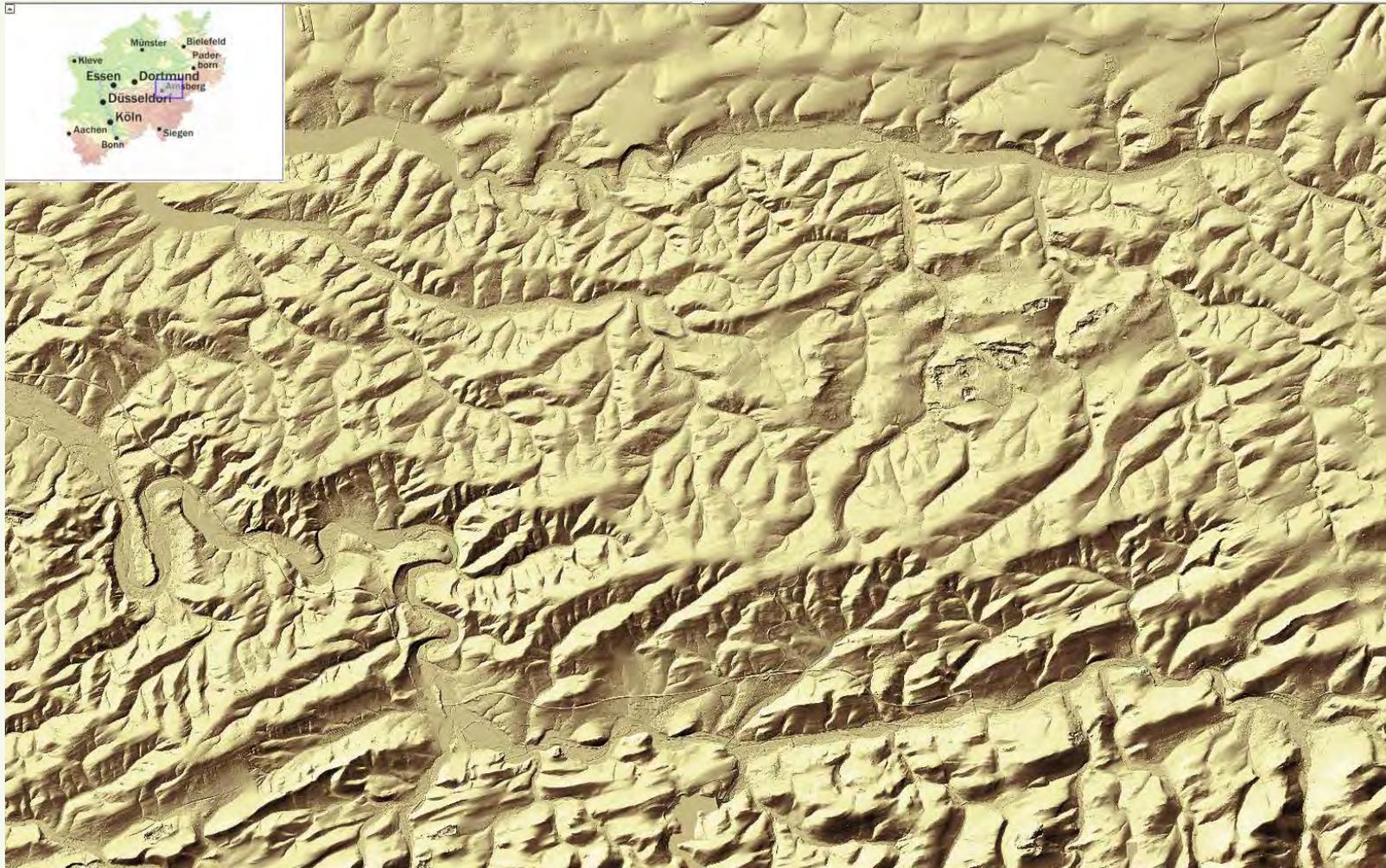
http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/wasser/gifs/gwleiter_karte_gr.jpg

Lockergesteins-Landschaft mit geringem Relief I (Niederrhein)

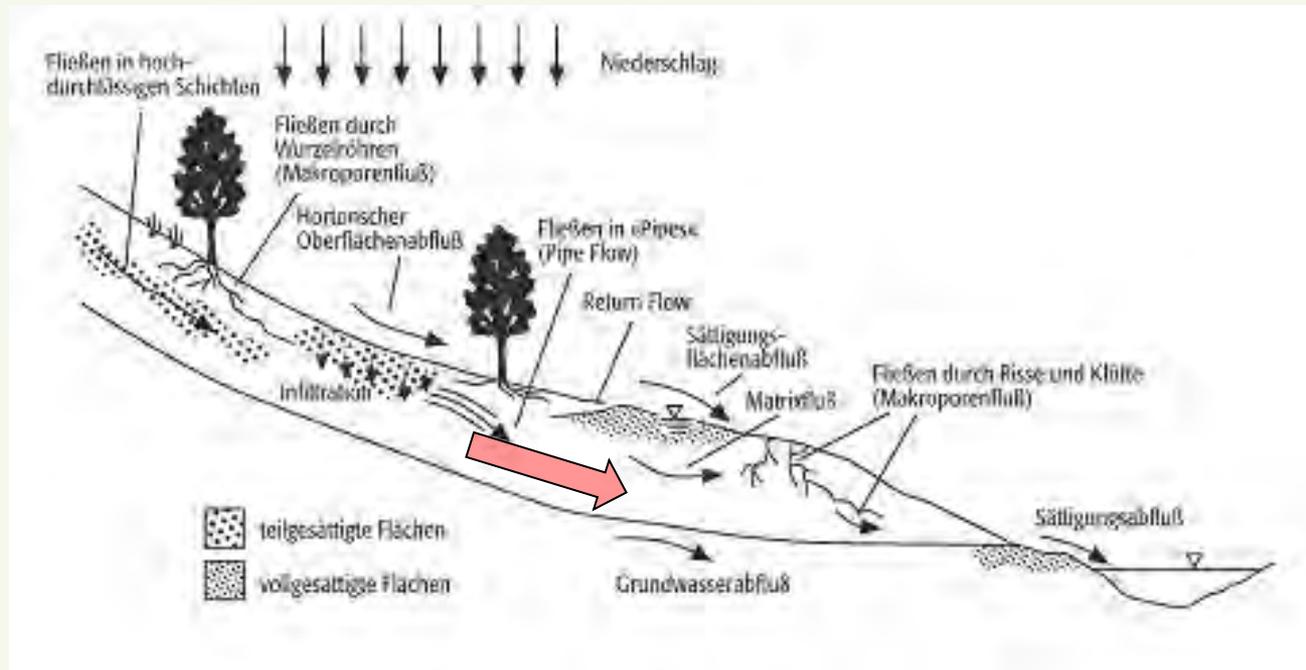


Quelle: TIM online © Geobasis NRW 2015. Ohne Maßstab.

Festgesteins-Landschaft mit hohem Relief (Nördl. Sauerland)



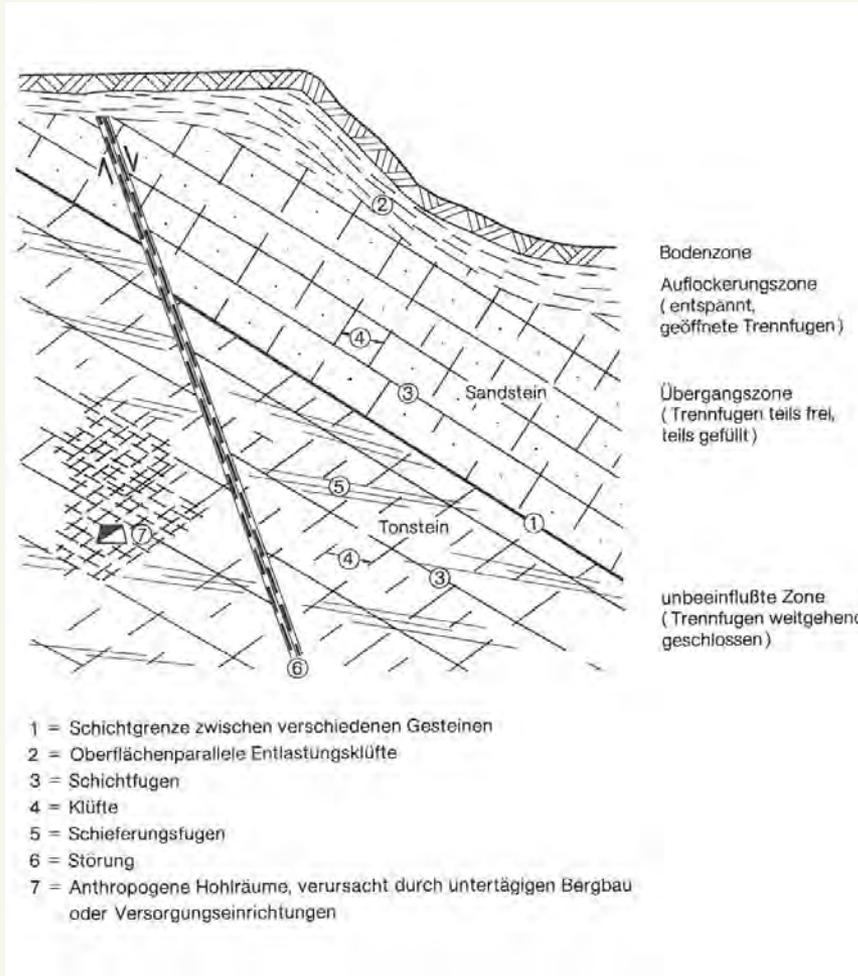
Starkes Relief: Hoher „Zwischenabfluss“ in der Lockergesteinsdecke und im Auflockerungshorizont des Festgesteins



Quelle:

<http://www.spektrum.de/lexika/images/geo/f5f2500.jpg>

Systematik von Trennflächen in Festgesteinen

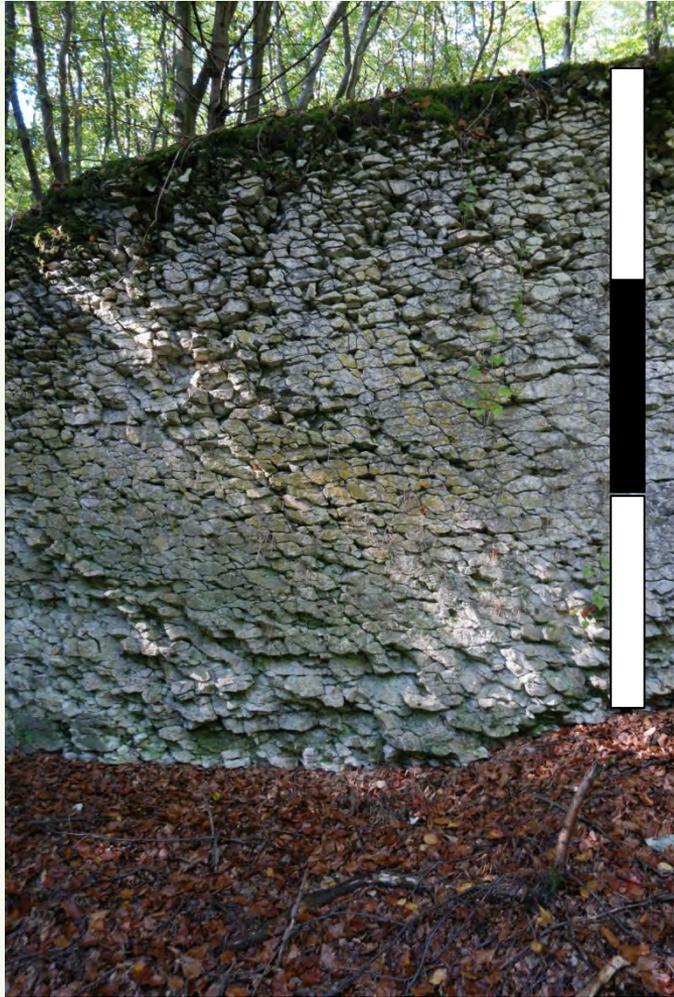


Quelle: MURL-Leitfaden
1991

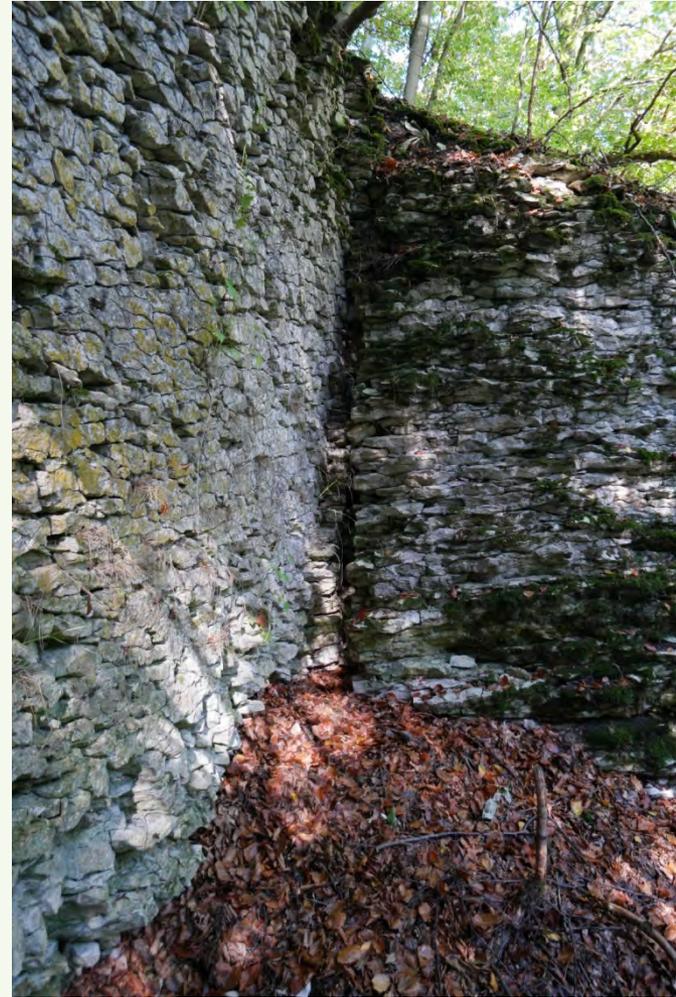
Kalksteinbruch im Weserbergland mit Trennflächengefüge



Trennflächengefüge (Oberkreide-Mergelkalkstein)



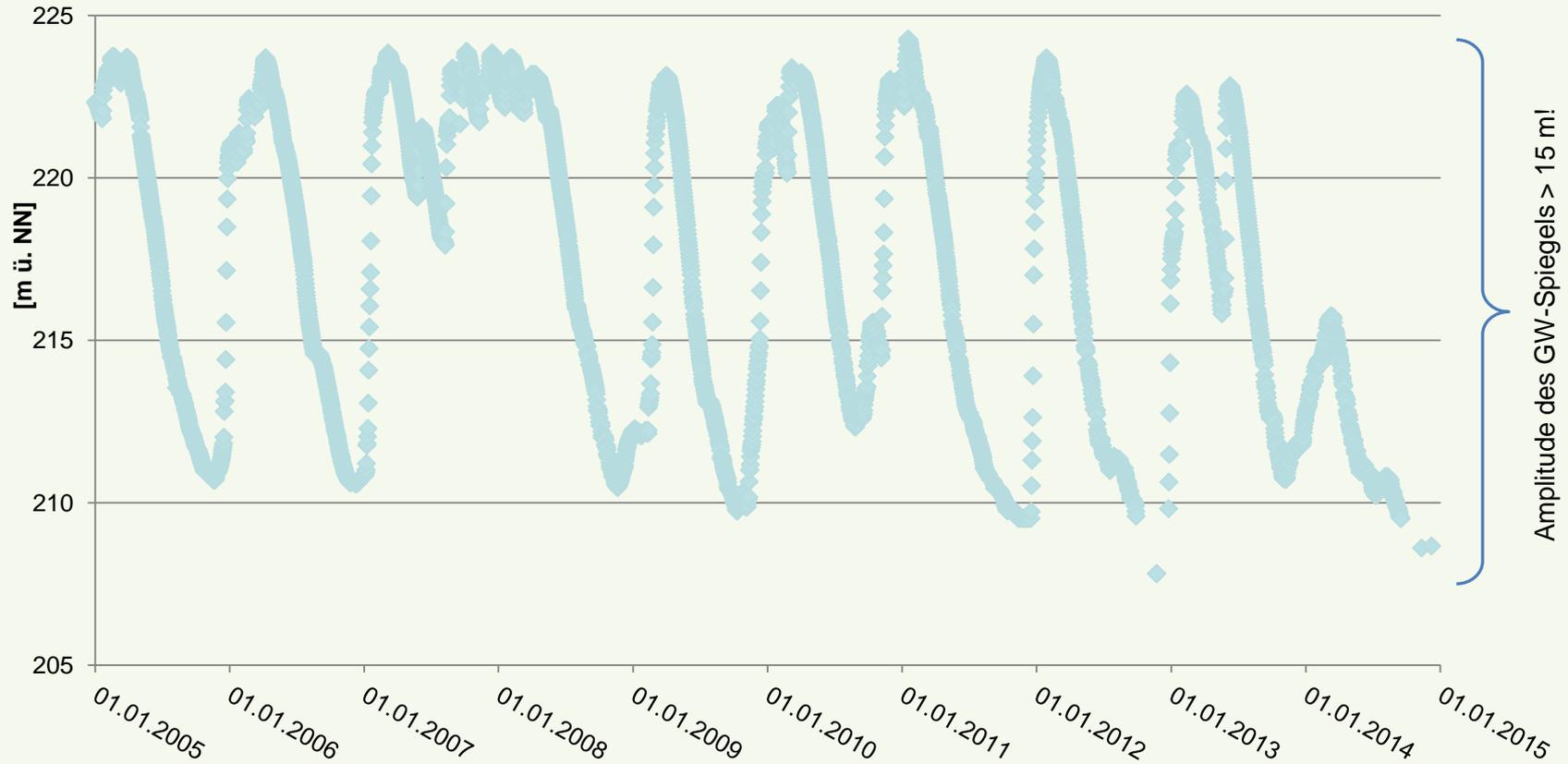
3 m





Typisches Verhalten eines Festgesteinsgrundwasserleiters (Oberer Muschelkalk, Weserbergland)

Wasserstand in m ü. NN





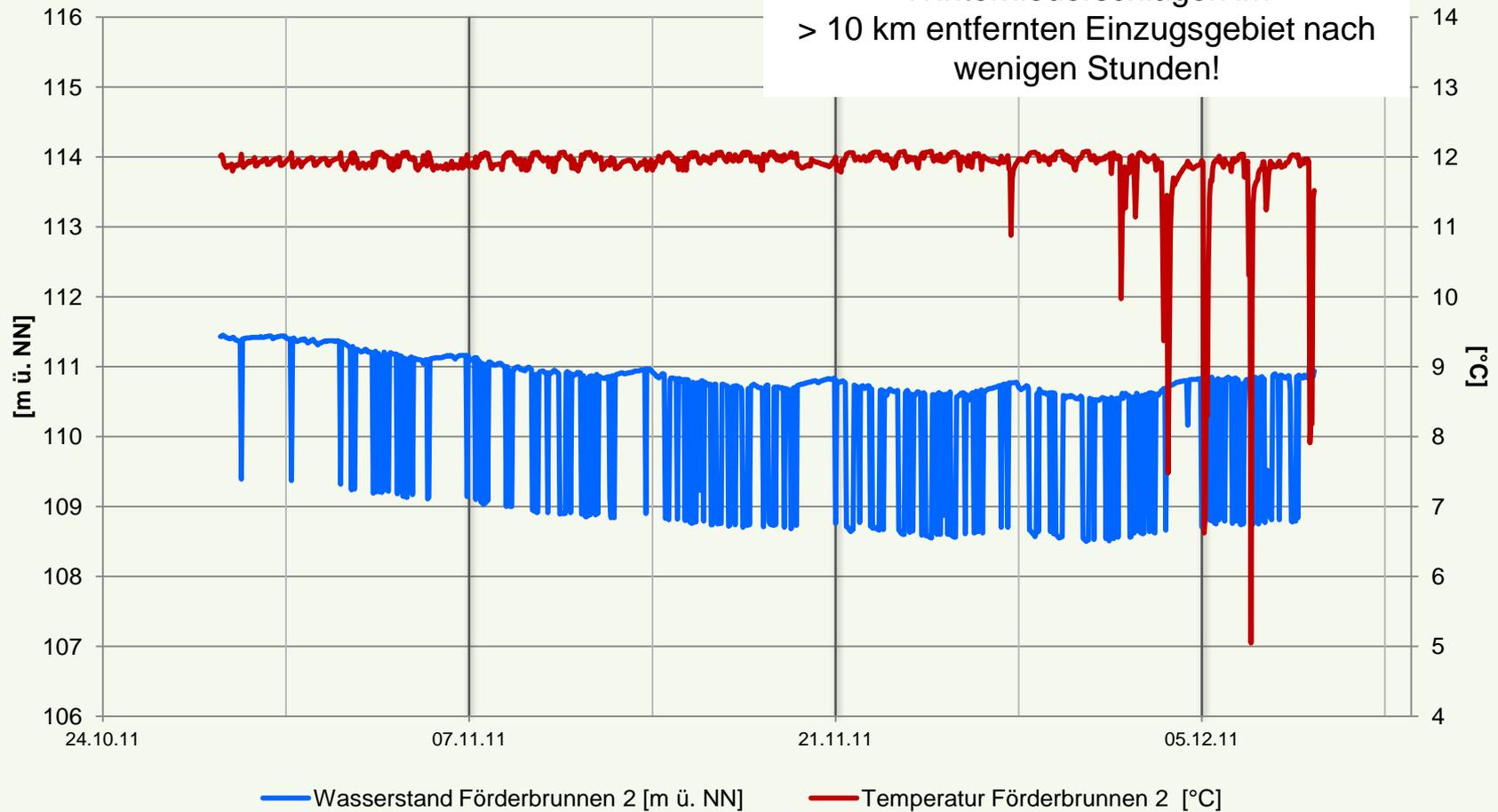
Woraus resultiert die hohe Amplitude der Grundwasserspiegelschwankungen in Festgesteinsgrundwasserleitern?

- Das „nutzbare“ Hohlraumvolumen in Festgesteinsgrundwasserleitern ist i. d. R. sehr viel kleiner als im Lockergesteinsgrundwasserleitern!
- Typische Werte:
 - Sande und Kiese 10 – 30 %
 - Sandsteine (Trennflächen) 0 – 3 %, ggf. zusätzlich Poren Hohlräume
 - Kalkstein (verkarstet) 1 – 5 %
- Bei einer jährlichen Grundwasserneubildung von 200 mm steigt der Grundwasserspiegel
 - in einem sandigen Kies mit einem Porenvolumen von 20 % um **1,0 m**,
 - in einem Kalkstein mit einem Hohlraumvolumen von 2 % aber um **10 m!**

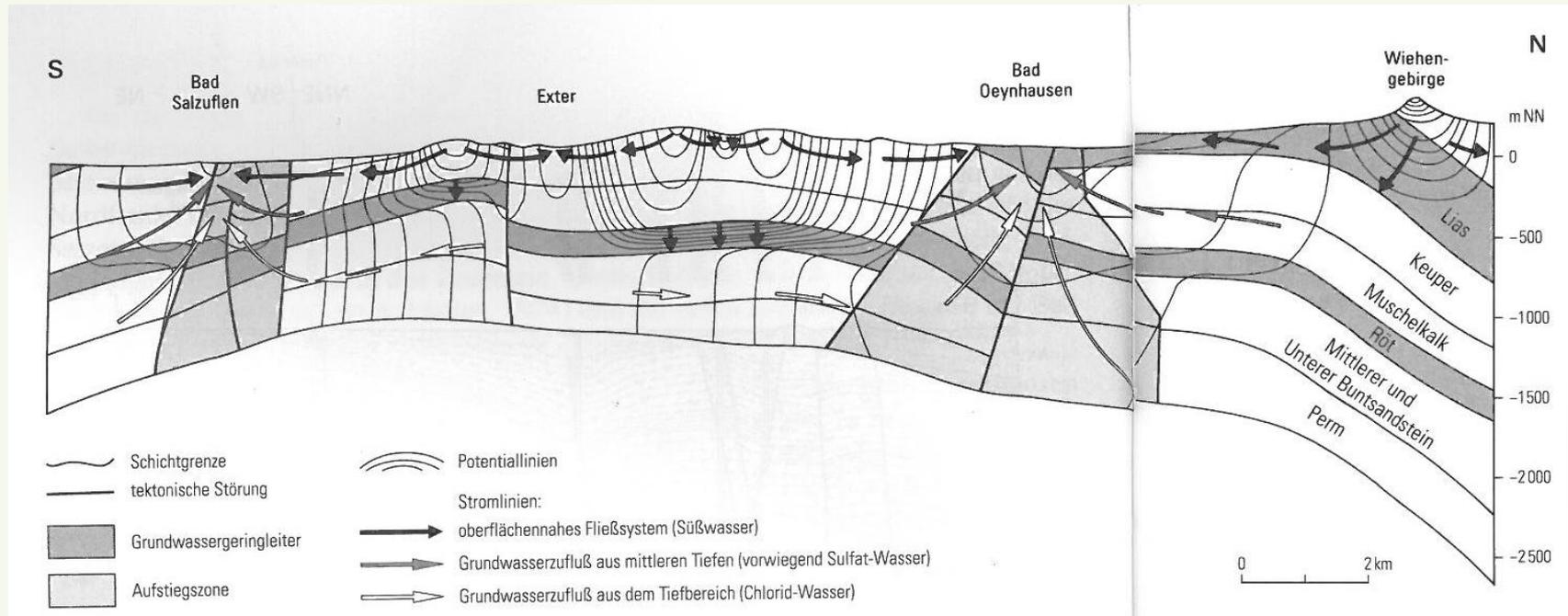


Karstgrundwasserleiter – sehr hohe Fließgeschwindigkeiten

Temperatur-Einfluss von
Winterniederschlägen im
> 10 km entfernten Einzugsgebiet nach
wenigen Stunden!



Festgesteinsuntergrund mit Aufstiegszonen für „alte“ und ggf. höher mineralisierte Grundwässer



Quelle: Michel, Adams, Schollmeyer: Mineral- und Heilwässervorkommen in Nordrhein-Westfalen. Hrsg. Geologisches Landesamt NRW. Krefeld 1998

Anwendung von Bohrlochgeophysik / -messungen

... bei der Gesteinsansprache:

- (Messstellen-) Bohrungen im Festgestein werden aus Kostengründen in aller Regel im Spül- oder Imlochhammer-Verfahren ausgeführt.
- Als Bohrgut fällt stark zermahlenes bzw. zerschlagenes Material an, das nur eine eingeschränkte Gesteinsansprache zulässt (zusätzliche Informationen: Andruck, Bohrfortschritt, Spülverluste u. ä.)!



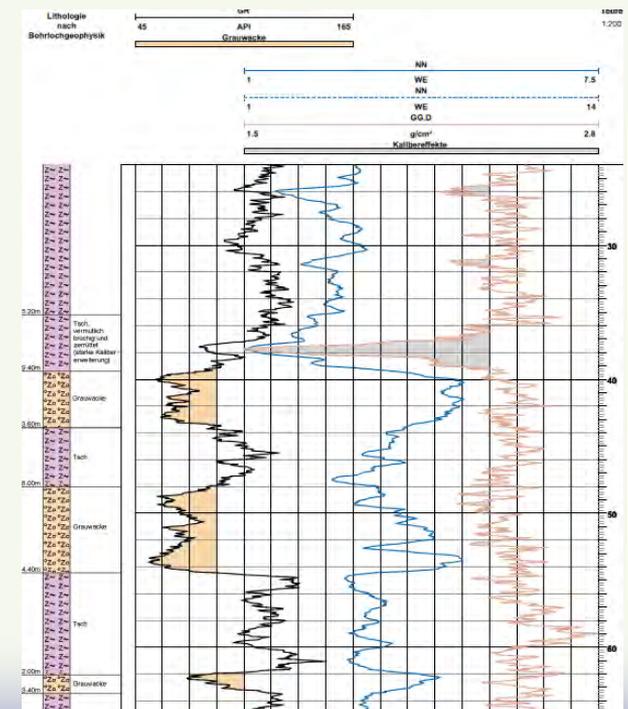
... bei der Kontrolle des Ausbaus:

- Mit Bohrlochgeophysik kann die Lage und Dichte von Tonsperren, die Dichtigkeit von Rohrverbindungen usw. bestimmt werden

... bei der Klärung von Strömungsvorgängen:

- Mit Bohrlochmessungen können Zu- und Abflussbereiche im Bohrloch, Vertikal- und ggf. auch Horizontalströmungen ermittelt werden!

Quelle: <http://www.blm-storkow.de/nn/leistungen-und-services/offene-bohrungen.html>





Messstellenbau bei Festgesteinsgrundwasserleitern

... *Absperrung gegenüber dem Lockergestein:*

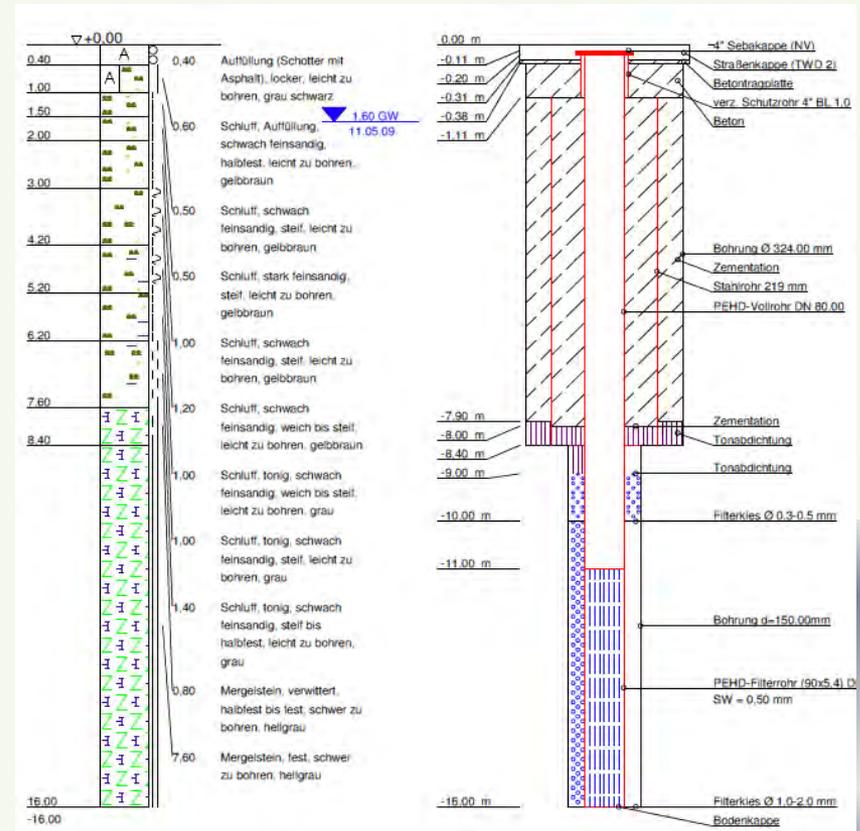
- Durch geeignete Maßnahmen muss sichergestellt werden, dass Grundwasser aus dem Lockergestein nicht in die Festgesteins-Messstelle eintreten kann!

... *Stockwerksgliederung:*

- Locker- und Festgestein, aber auch unterschiedliche Einheiten im Festgestein selbst können unterschiedlichen Grundwasser-stockwerken angehören und dürfen / sollten durch die Messstelle nicht verbunden werden!

... *Arteser:*

- Insbesondere in topographischen Tieflagen und bei Vorhandensein bindiger Deckschichten ist das Grundwasser im Festgestein häufig artesisch gespannt. Daher sind bei Bohrung und Ausbau entsprechende Vorkehrungen zu treffen!





Tracerversuche

- Durch die Eingabe geeigneter Tracer (z. B. Fluoreszenz-Farbstoffe wie Uranin, Amidorhodamin u. ä.) in den (Festgesteins-) Grundwasserleiter und die Beobachtung des Tracers in Messstellen etc. können Fließwege, Abstandsgeschwindigkeiten und weitere hydraulische Parameter ermittelt werden.
- Tracerversuche ersetzen aber nicht die „normale“ Erkundung mit Bohrungen und Messstellen.
- Tracerversuche machen dabei nur Sinn, wenn eine hinreichende Anzahl von Beobachtungspunkten (Messstellen, Brunnen, Quellen usw.) vorhanden sind.
- Bei Tracerversuchen sollten gerade in Festgesteinsgrundwasserleitern möglichst Fluoreszenzdetektoren mit Datenlogger eingesetzt werden, da die Fließgeschwindigkeiten sehr schwer zu prognostizieren sind und immer wieder Überraschungen auftreten.

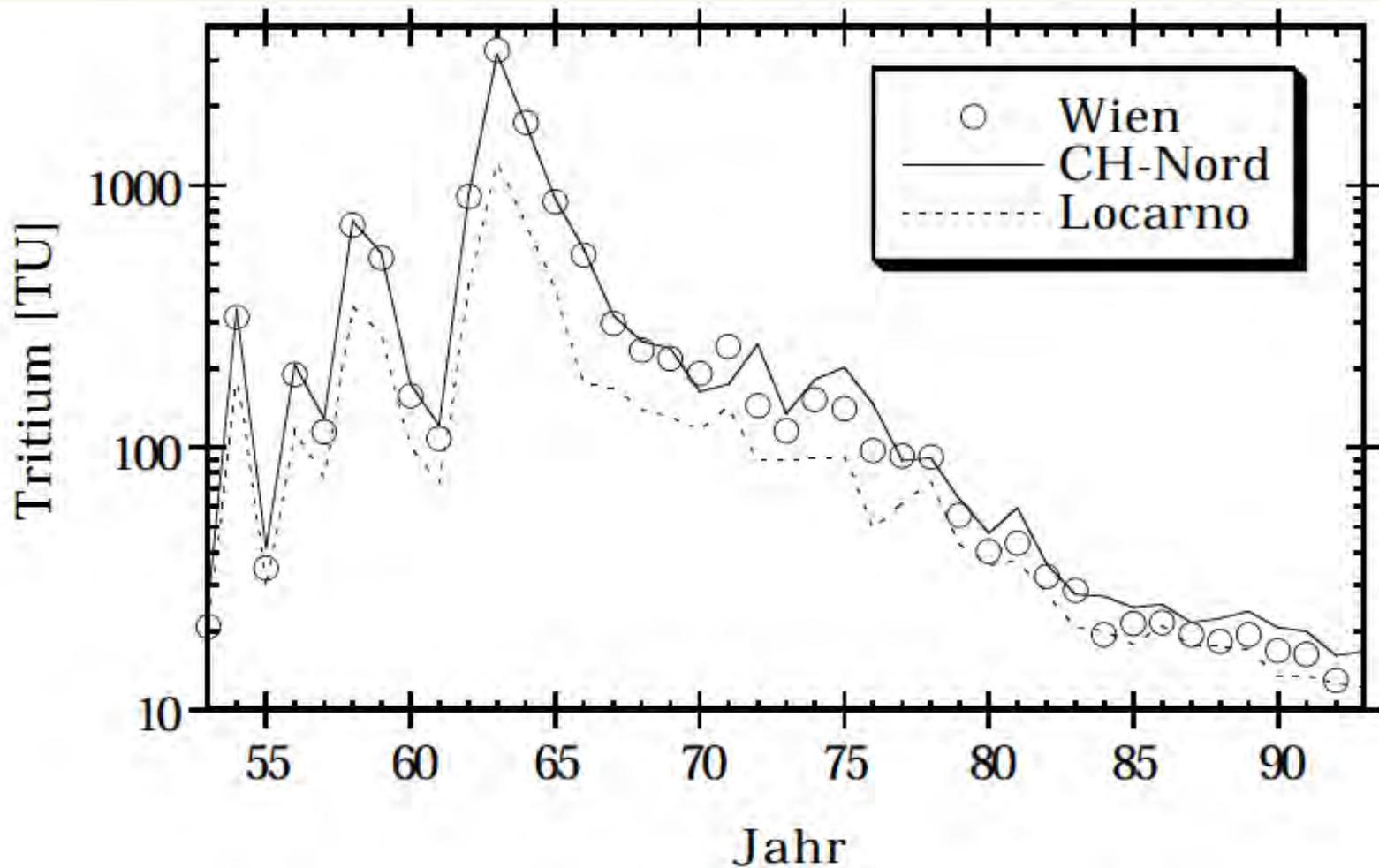


Altersbestimmung von Grundwasser

- Fragestellung: Sind „erhöhte“ Stoffgehalte im Grundwasser (z. B. Chlorid, Sulfat, Bor ...) geogen oder anthropogen, d. h. durch eine Altlast verursacht?
- Eine Methode zur Bestimmung bzw. zum Ausschluss von „jungem“ Grundwasser ist die Untersuchung auf **Tritium**, einem radioaktiven Isotop des Wasserstoffs mit einer Halbwertszeit von 12,43 a.
- Tritium entsteht einerseits natürlicherweise in der Atmosphäre durch Einwirkung kosmischer Strahlung, andererseits sind sehr hohe Tritiummengen durch die atmosphärischen Wasserstoffbomben-Versuche in den 1950er und vor allem 1960er Jahren entstanden.
- Tritium-Konzentrationen werden angegeben in „Tritium-Units“ [TU] (Verhältnis $1 \text{ TU} = {}^3\text{H}/{}^1\text{H} = 10^{-18}$).
- Die natürliche Tritium-Konzentration im Niederschlagswasser liegt bei etwa 5 TU; in den 1960er Jahren stieg diese auf der Nordhalbkugel auf bis zu 10.000 TU an.



Tritium-Konzentration des Niederschlags in Österreich / Schweiz



Quelle: www.iup.uni-heidelberg.de/institut/forschung/.../K2_Helium_Tritium.pdf

Fallbeispiel 1: Ehemalige Werksdeponie (Talverfüllung) auf Keupergesteinen in einem Gebiet mit Mineralwasservorkommen





Fallbeispiel 1: Ehemalige Werksdeponie (Seiten-Talverfüllung) auf Festgestein in einem Gebiet mit Mineralwasservorkommen

- Die Werksdeponie wurde zwischen 1973 und 2000 betrieben.
- Verfüllt wurde ein Seitental, in dessen Untergrund Keuper-Festgesteine vorkommen.
- In zwei der sechs vorhandenen Grundwassermessstellen treten hohe Sulfatgehalte auf, während in den anderen Messstellen nur wenige Zehner mg/l Sulfat nachweisbar sind.
- Die beiden Messstellen mit hohen Sulfatgehalten liegen „unterhalb“ der Werksdeponie am Nordrand eines Talzugs.
- Sulfat-haltige Abfälle wurden nach Aktenlage nicht abgelagert.
- Die Werksdeponie liegt im Kreuzungsbereich von tiefgreifenden Störungssystemen, auf denen im weiteren Umfeld Mineralwasseraufstiege (Sulfat-Wässer) erfolgen.
- **Fragestellung:** Sind die hohen Sulfatgehalte in den beiden „unterhalb“ der Werksdeponie gelegenen Messstellen BI und BVI geogen oder deponiebürtig?



Fallbeispiel 1: Ehemalige Werksdeponie (Talverfüllung) auf Keupergesteinen in einem Gebiet mit Mineralwasservorkommen

Grundwasseruntersuchungen 2012

- Messstelle B1: 987 mg/l Sulfat, 1,0 +/- 0,6 Tritium Units, d. h. enthält maximal 20 % eines Wassers aus dem Jahr 1985!
- Messstelle B6: 704 mg/l Sulfat, 4,4 +/- 0,7 Tritium Units, d. h. könnte hohe Anteile von Wasser aus dem Betriebszeitraum 1973 – 2000 enthalten!
- **Aber:** Wenn Sulfatquelle „jung“ wäre, dann müsste das „jüngere“ Wasser höhere Sulfatgehalte enthalten und nicht umgekehrt!

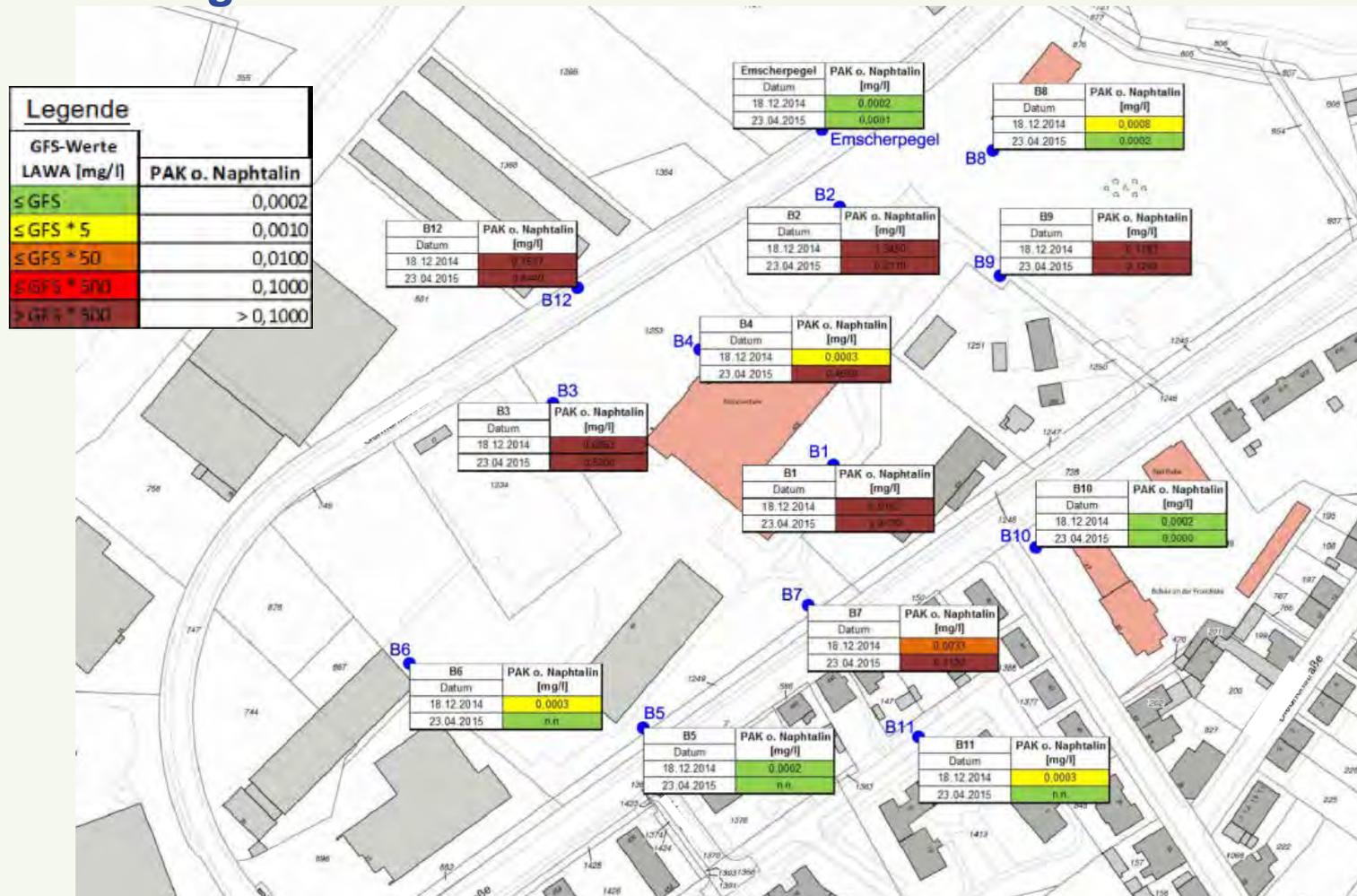
Jahr	TU bei Neubildung	Alter	TU 2012
1975	200	37	25,4
1985	25	27	5,5
1995	15	17	5,8
2005	10	10	5,7

Fallbeispiel 2: Zechen- und Kokereistandort in der Hellwegzone des Ruhrgebiets





Fallbeispiel 2: Zechen- und Kokereistandort in der Hellwegzone des Ruhrgebiets



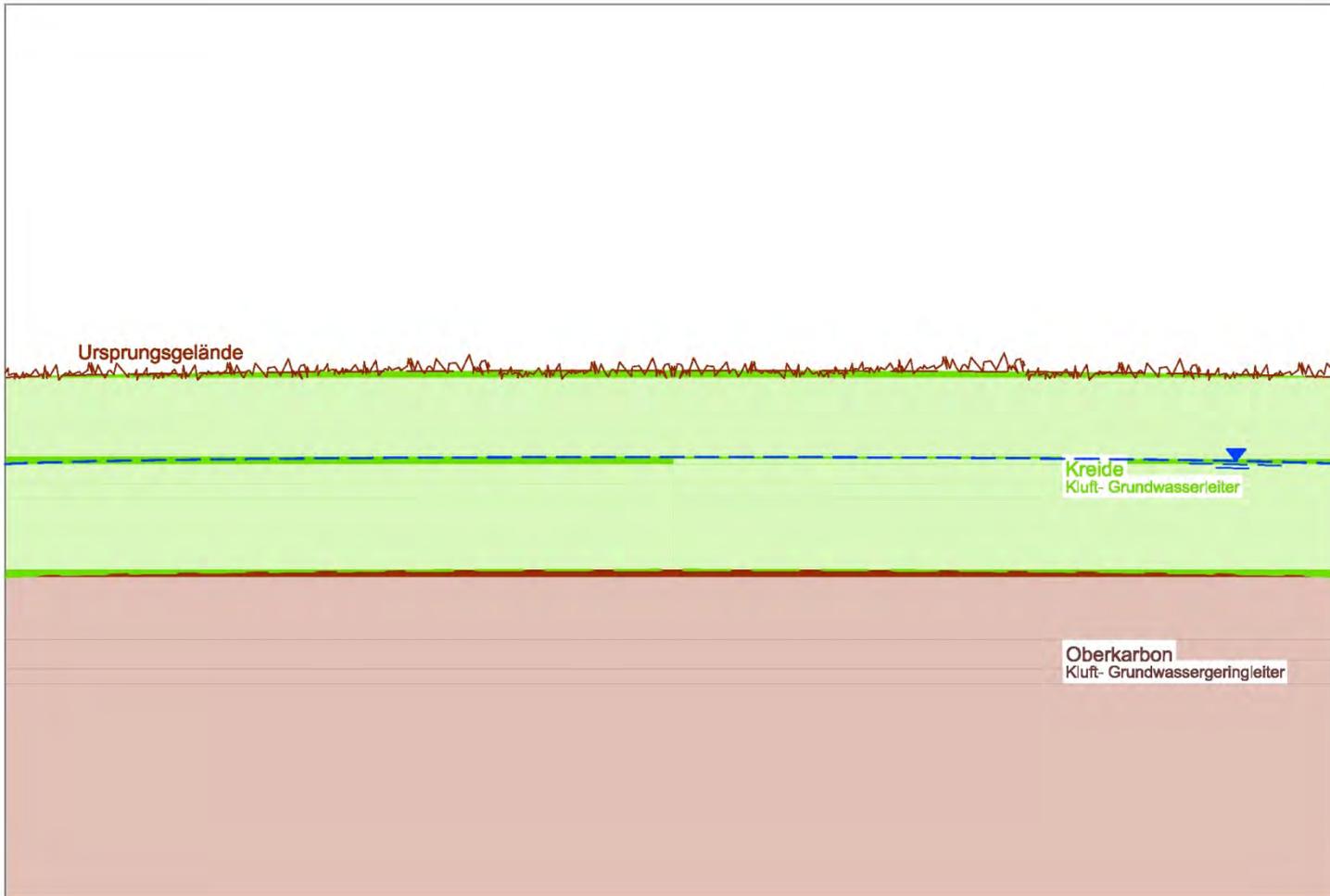
PAK 15-Gehalte (ohne Naphthalin)

Fallbeispiel 2: Zechen- und Kokereistandort in der Hellwegzone des Ruhrgebiets



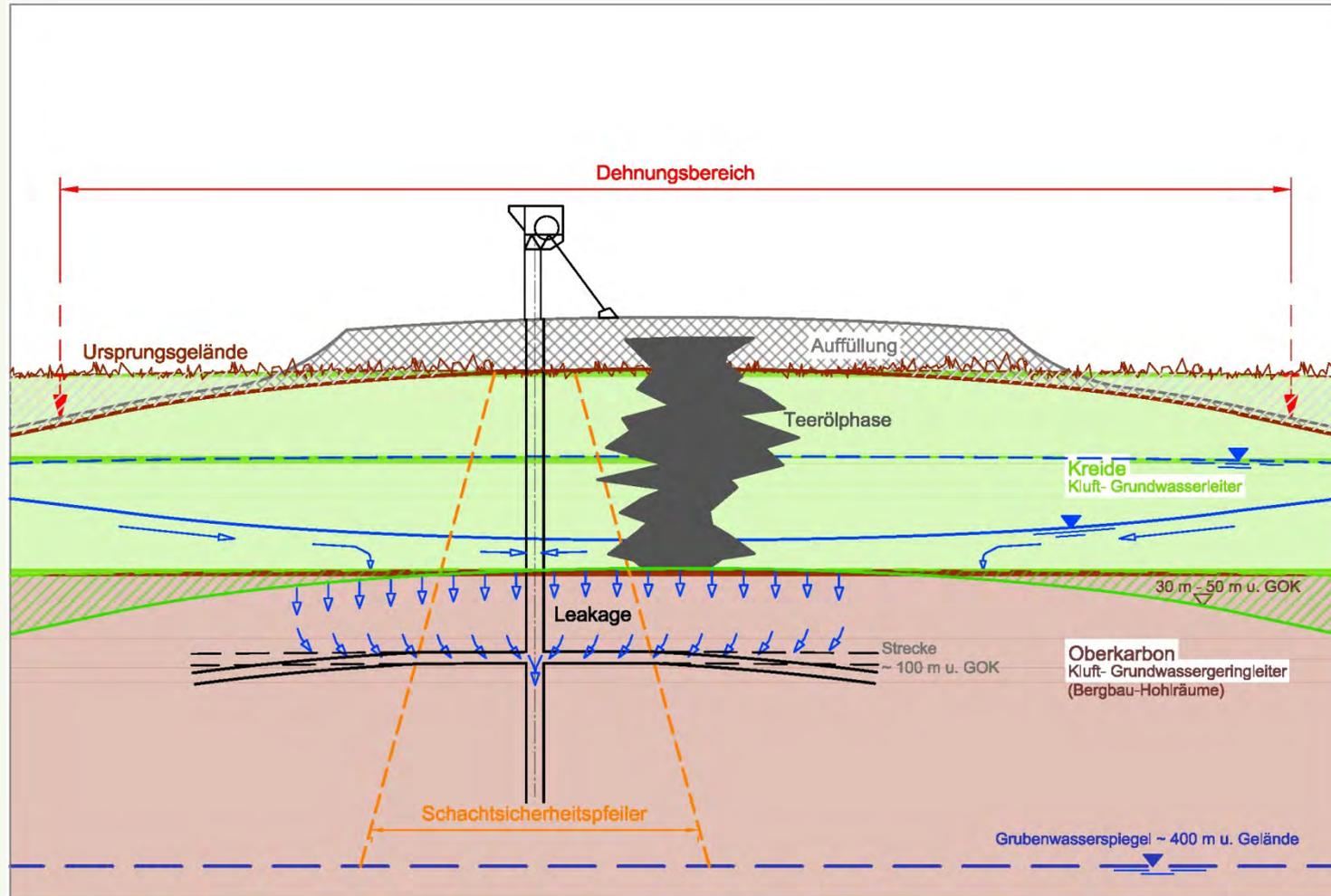
Isolinien der Grundwasseroberfläche (Stichtag 15.12.2014)

Fallbeispiel 2: Zechen- und Kokereistandort in der Hellwegzone des Ruhrgebiets

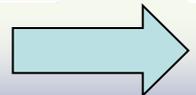


Modellvorstellung - Ursprungszustand

Fallbeispiel 2: Zechen- und Kokereistandort in der Hellwegzone des Ruhrgebiets



Modellvorstellung – Zustand in Folge des Bergbaus

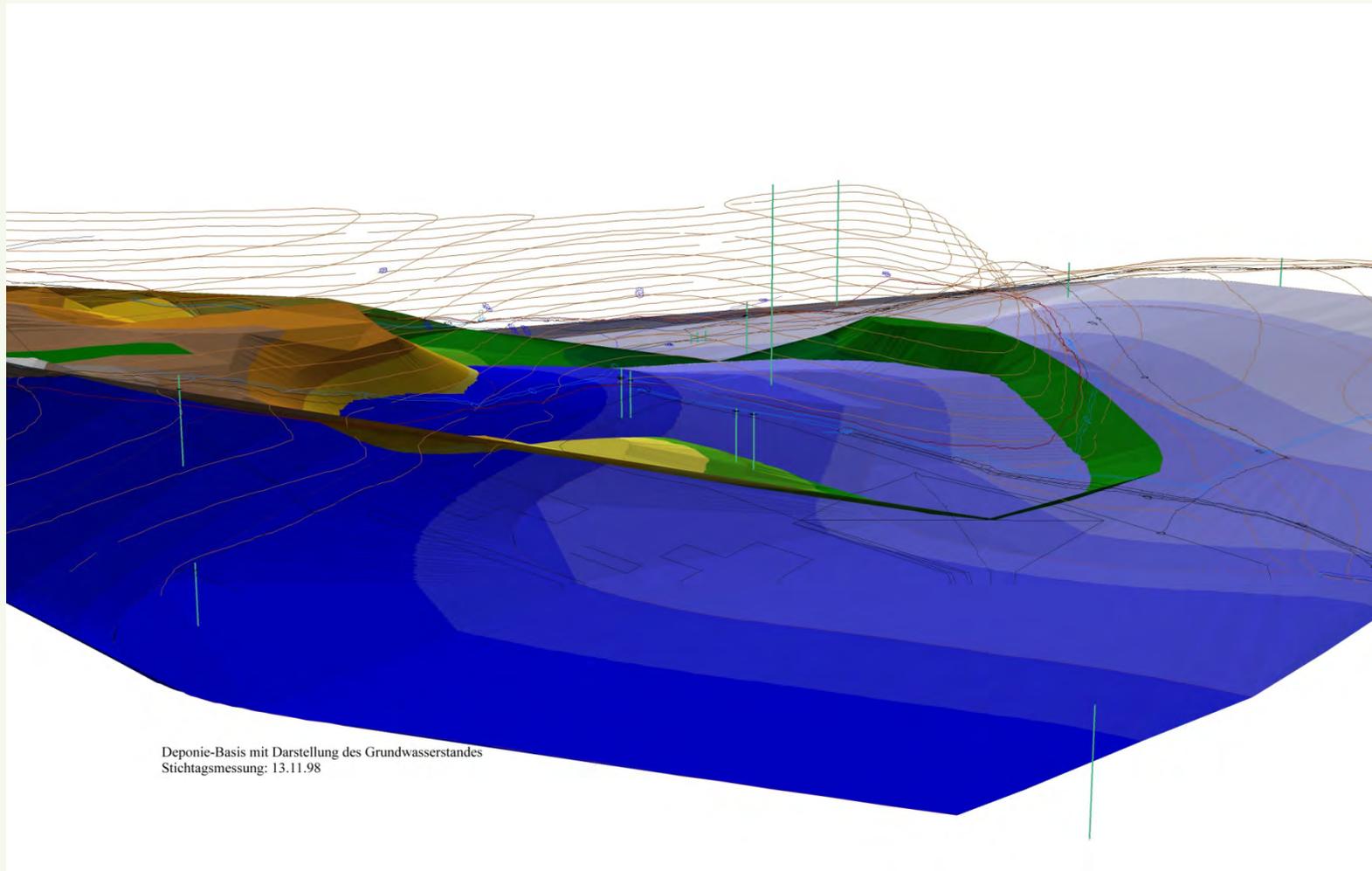


Fallbespiel 3: Altablagerung in einer „Schieferton“-Grube

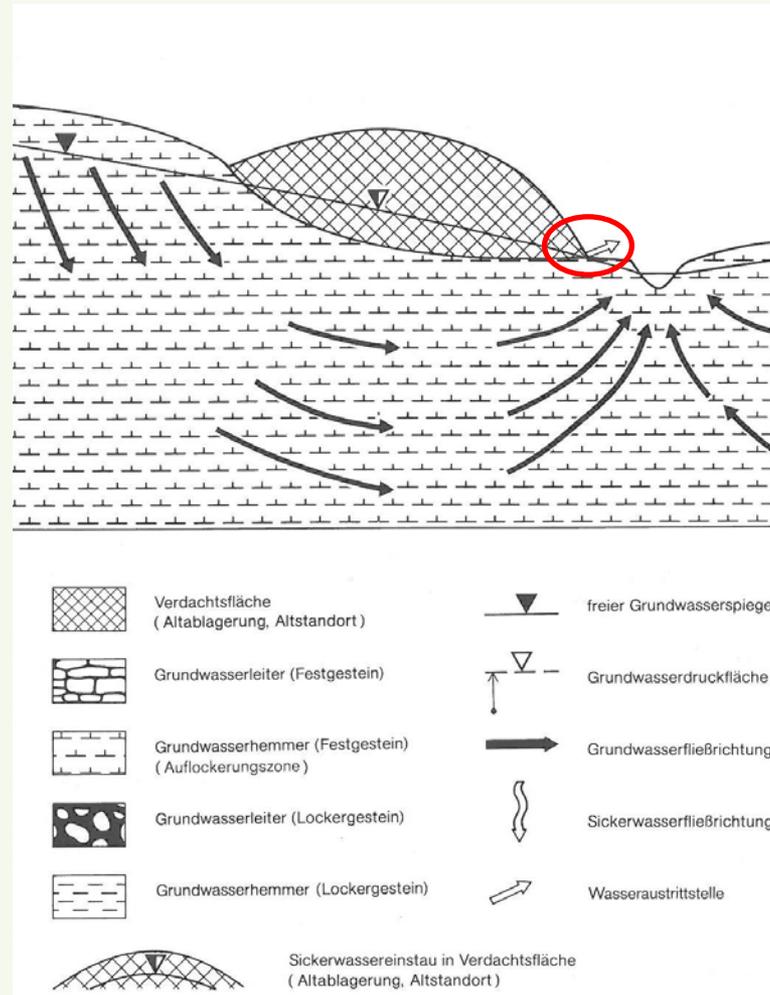


Schieferton-Grube um 1950

Fallbespiel 3: Altablagerung in einer „Schieferton“-Grube



Fallbespiel 3: Altablagerung in einer „Schieferton“-Grube



Quelle: MURL-Leitfaden
1991

**Geologischer Standorttyp 5 Geringdurchlässiger Untergrund,
Grundwasserspiegel über der Basis der Altablagerung**



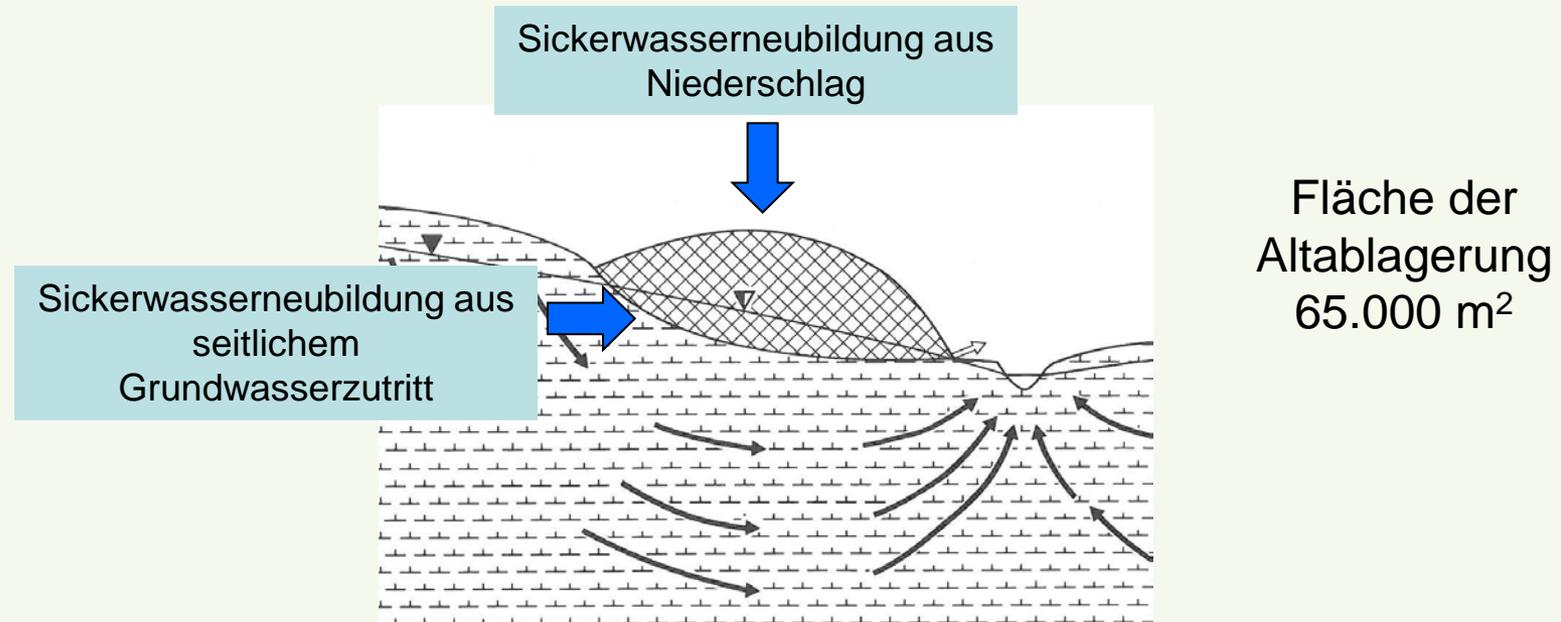
Sickerwasseraustritte vor der Sanierung

Hinweis: Der Schieferthon enthält Eisensulfide, so dass auch natürliche Quellen hohe Eisengehalte aufweisen können!



4. Fallbeispiele

Fallbespiel 3: Altablagerung in einer „Schieferton“-Grube



	Mittelwerte m ³ /Jahr	%
Sickerwasser aus Niederschlag	26.000	57
Sickerwasser aus Grundwasserzutritt	20.000	43

Wasserbilanz (rechnerische Abschätzungen)



Fallbespiel 3: Altablagerung in einer „Schieferton“-Grube

- Sickerfassung in der Altablagerung
 - Errichtung und Betrieb von Sickerwasserbrunnen im Nahbereich von Sickerwasseraustrittsstellen, Behandlung des Sickerwassers
- Sicker- bzw. Grundwasserfassung im Abstrom
 - Errichtung von Fangedrängs im abstromigen Grundwasser, Behandlung des belasteten Grundwassers
- Oberflächenabdichtung
 - Wegen Vorhandenseins sehr steiler Böschungen und Jungwaldaufwuchs Verzicht auf die Errichtung einer Oberflächenabdichtung
- Grundwasserabsenkung im Anstrom
 - Errichtung und Betrieb eines Förderbrunnens, Ableitung des unbelasteten Grundwassers in die Vorflut

Gefasste jährliche Sickerwassermenge nach Sanierung: 25.000 m³
(Mittelwert 2006 – 2015)

Mögliche und realisierte Maßnahmen



Fazit (1)

- Festgesteinslandschaften weisen i. d. R. ein starkes Relief auf, so dass hohe Potentialunterschiede auftreten können (Arteser-Risiko) !
- Bei starkem Relief ist der Interflow bzw. der Hangabfluss eine wichtige hydrologische Bilanzgröße!
- Die Wasserbewegung in *Kluft*grundwasserleitern erfolgt vor allem auf Trennflächen. Im „Idealfall“ (regelmäßig geklüfteter Sandstein) kann der Kluftgrundwasserleiter dann in Analogie zum Porengrundwasserleiter als „quasi isotrop“ angesehen werden.
- In *Karst*grundwasserleitern erfolgt die Grundwasserbewegung in „Karströhren“ und damit extrem anisotrop; die Abstandsgeschwindigkeit kann hier extrem hoch sein!
- In Festgesteinen ist i. d. R. der Speicherkoeffizient sehr viel niedriger als in Lockergesteinen, was zu starken Reaktionen auf Zufuhr und Entnahme – z. B. Niederschlagsereignisse – führt (hohe Amplitude des Jahresgangs).



Fazit (2)

- In Festgesteinsgrundwasserleitern ist zu beachten, dass auf Grund von Vertikalströmungen „altes“, oft höher mineralisiertes Grundwasser neben „jungem“ Grundwasser auftreten kann. Hohe elektrische Leitfähigkeiten, Chlorid-, Sulfat- und Borgehalte sind daher nicht „automatisch“ als Indikatoren für eine anthropogene Beeinflussung zu bewerten.
- Insbesondere im Festgestein ist beim Bau von Messstellen sorgfältig auf das Absperren von Grundwasserstockwerken zu achten, um Fehlbefunde zu vermeiden.
- Gerade bei der Untersuchung von Festgesteinsgrundwasserleitern sollten zusätzlich zu den üblichen Methoden „moderne“ Methoden wie (geophysikalische) Bohrlochmessungen, radiometrische Altersbestimmungen u. ä. zur Anwendung kommen.



Fazit (3)

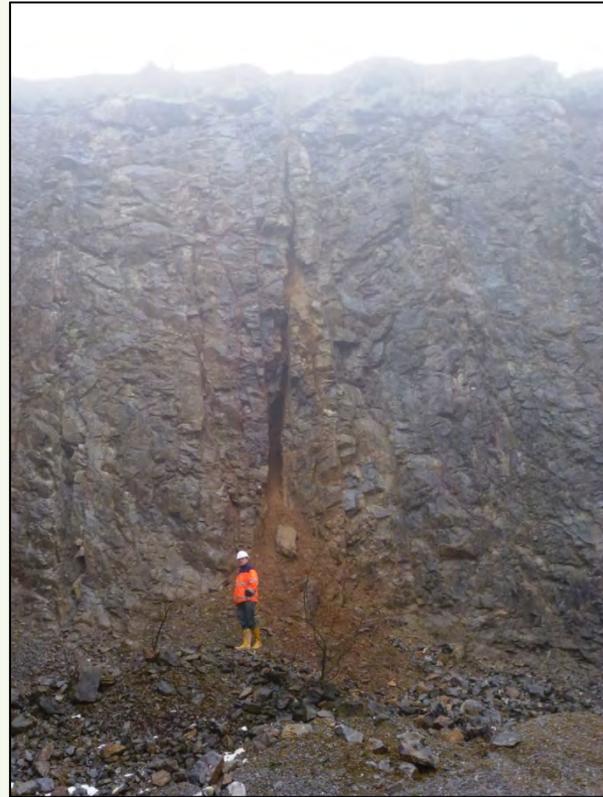
- Die Festgesteinsgebiete in NRW, insbesondere die Verbreitungsgebiete paläozoischer Gesteine (Eifel, Bergisches Land, Sauerland, Siegerland) sind durch Altbergbau geprägt, der die hydrologisch-hydrogeologischen Verhältnisse stark beeinflusst.
- Bergbaueinflüsse auf die hydrologisch-hydrogeologischen Verhältnisse sind auch im Kreide-Deckgebirge des Ruhrgebiets anzunehmen!



Trotz allem gilt aber auch in Festgesteinen: Das Grundwasser bewegt sich von oben nach unten und nimmt am liebsten den Weg des geringsten Widerstands.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr. Michael Kerth

Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH

Tel. (0 52 31) 3 08 21 – 0

m.kerth@dr-kerth-lampe.de

Anhang 1: Luftbild 2015 mit Kluftnetz (Oberkreide-Mergelkalkstein)





Anhang 2: TU-Werte in unterschiedlich altem Wasser

- Fragestellung: Welche TU-Werte sind heute in unterschiedlich altem Grundwasser zu erwarten? (Anmerkung: Bei der nachfolgenden Berechnung bleibt der Aspekt der „mittleren Verweilzeit“ außer Betracht)
- Zerfallsgesetz: $TU_{(t)} = TU_{(0)} * 0,5^{\frac{t}{12,43}}$

Jahr	TU bei Neubildung	Alter	TU heute
1950	5	65	0,1
1965	2000	50	123,1
1975	200	40	21,5
1985	25	30	4,7
1995	15	20	4,9
2005	10	10	5,7